

# AIRES, ZHAireS y RASPASS: Cuentas y plantillas

Sergio Cabana Freire

26 de octubre de 2022

Voy a recoger aquí las cuentas que vaya haciendo sobre la geometría de los programas. También incluiré algunas plantillas para input files y las normas que se me ocurran para nombrar ficheros de manera eficiente. Lo que sigue está pensado para AIRES 19.04.08 (22/Oct/2021) con la extensión ZHAireS 1.0.30a (30/Jun/2022), que incluye RASPASS<sup>1</sup>. Las diferencias con versiones anteriores estarán en la geometría (aunque los cálculos podrán adaptarse, simplemente fijando algunos parámetros que en RASPASS son libres) y en alguna tabla o instrucción IDL nueva, nada más.

Referencias importantes:

[Página web de AIRES / ZHAireS. Documentación actualizada](#)

[Presentación de RASPASS. Matías Tueros, ARENA 2022](#)

[Repositorio GitHub \(con algunas plantillas y códigos que pueden ser útiles\)](#)

## Índice

<b>1. Geometría en RASPASS</b>	<b>2</b>
<b>2. Normas para nombrar <i>Tasks</i> en AIRES</b>	<b>4</b>

---

<sup>1</sup>*RaspPASS is an Aires Special Primary for Atmospheric Skimming Showers*. Primera sigla recursiva observada en la naturaleza.

# 1. Geometría en RASPASS

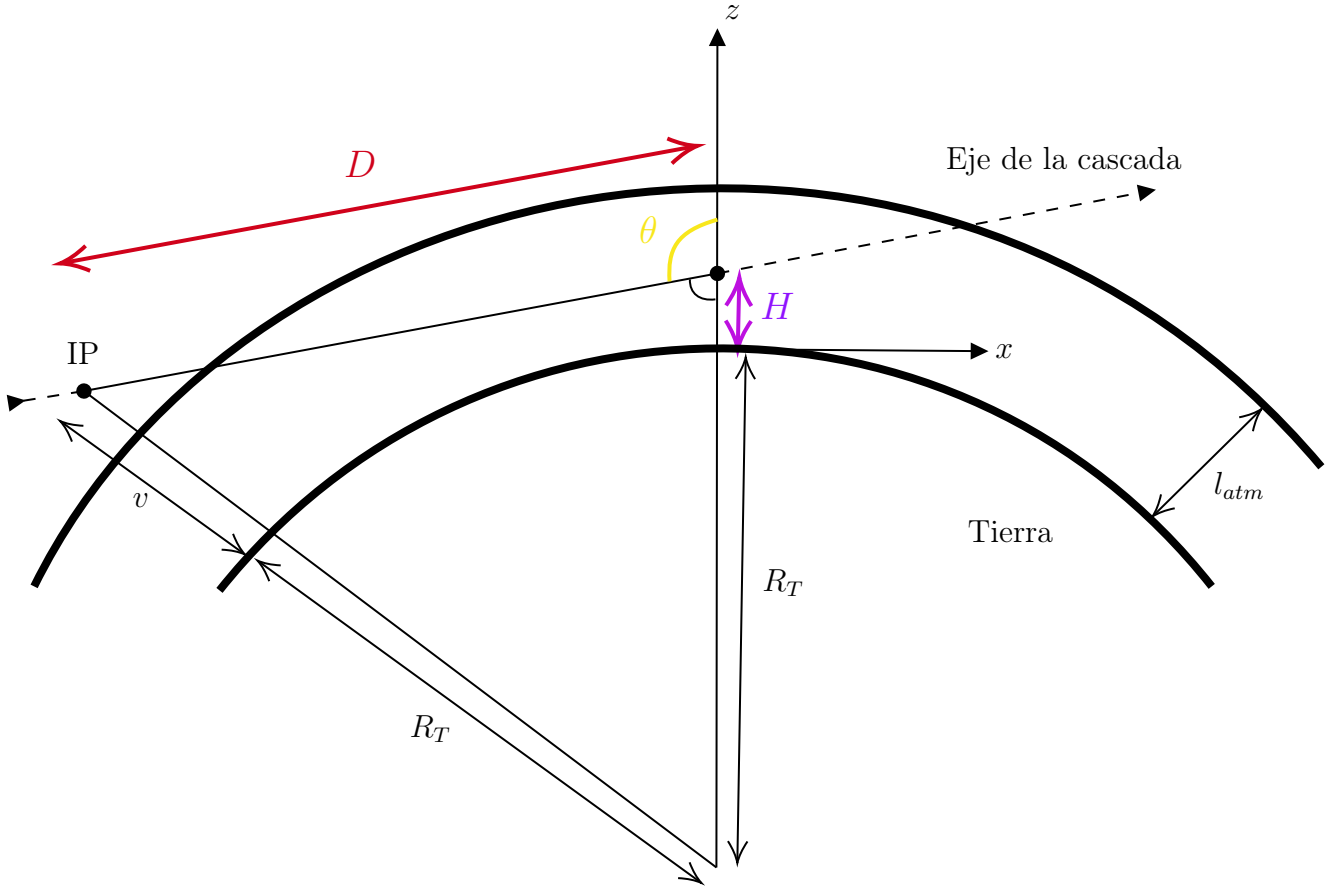


Figura 1.1: Esquema de la geometría en RASPASS

Tenemos tres parámetros para determinar la geometría en RASPASS:

- RASPASSDistance,  $D$ . Distancia a lo largo del eje desde el punto de inyección (IP) hasta la intersección con la vertical del observador.
- RASPASSHeight,  $H$ . Altura a la que pasa el eje de la cascada sobre la vertical del observador.
- PrimaryZenAngle,  $\theta$ . Ángulo entre el eje de la cascada y la vertical del observador.

Esta geometría puede reducirse a casos más sencillos:

- Cascadas hacia abajo (normales):  $H = 0$ ,  $\theta < 90^\circ$ .
- Cascadas hacia arriba:  $H = 0$ ,  $D \leq 0$ ,  $\theta > 90^\circ$  (Inyección a nivel del suelo o por encima)

Todo lo que sigue es trigonometría sencilla<sup>2</sup>:

$$(R_T + v)^2 = (R_T + H)^2 + D^2 + 2D(R_T + H) \cos \theta \quad (1.1)$$

---

<sup>2</sup> $\sin(\pi - x) = \sin x$  ;  $\cos(\pi - x) = -\cos x$

### 1.1. Altura del punto de inyección

Despejando de (1.1):

$$v = \sqrt{(R_T + H)^2 + D^2 + 2D(R_T + H) \cos \theta} - R_T \quad (1.2)$$

### 1.2. Valor de $D$ en función de $v$ (y demás parámetros RASPASS)

La ecuación (1.1) es una cuadrática en  $d$ :

$$d = -(R_T + H) \cos \theta + \sqrt{(R_T + H)^2 \cos^2 \theta - [H^2 - v^2 + 2R_T(H - v)]} \quad (1.3)$$

### 1.3. Altura en la atmósfera, $h$ , en función de distancia recorrida a lo largo del eje desde IP, $L$

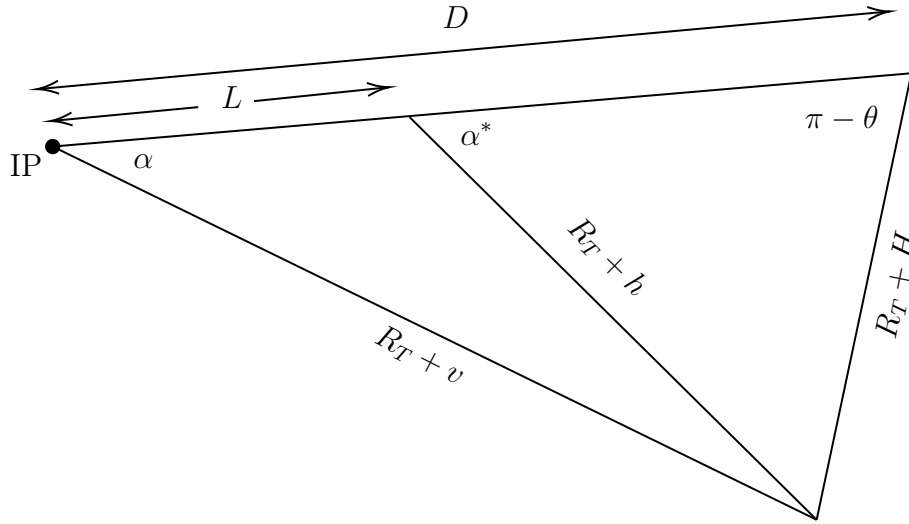


Figura 1.2: Detalle del triángulo en la Fig. 1.1.

Aplicando el teorema del coseno:

$$(R_T + h)^2 = (R_T + v)^2 + L^2 - 2L(R_T + v) \cos \alpha \quad (1.4)$$

$$h = \sqrt{(R_T + v)^2 + L^2 - 2L(R_T + v) \cos \alpha} - R_T \quad (1.5)$$

$v$  puede obtenerse de los inputs de RASPASS (1.2). Falta calcular  $\cos \alpha$ . Aplicamos el teorema del seno y elevamos al cuadrado:

$$\frac{(R_T + H)^2}{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{(R_T + v)^2}{\sin^2(\pi - \theta)} = \frac{(R_T + v)^2}{\sin^2 \theta} \quad (1.6)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left( \frac{R_T + H}{R_T + v} \right)^2 \sin^2 \theta} \quad (1.7)$$

Las ecuaciones (1.5) y (1.7) forman el resultado. La altura  $h$  (1.5) presenta un mínimo cuando:

$$\frac{dh}{dL} = 0 \implies L_{min} = (R_T + v) \cos \alpha \quad (1.8)$$

Es trivial comprobar que el valor mínimo de la altura es:

$$h_{min} = (R_T + v) \sin \alpha - R_T = (R_T + H) \sin \theta - R_T \quad (1.9)$$

La interpretación para los casos en que la expresión anterior devuelve valores negativos es que, simplemente, la trayectoria *cruza* la superficie de la Tierra. En esos casos, el valor físico es  $h_{min} = 0$

## 1.4. Materia atravesada en función de distancia recorrida a lo largo del eje desde IP

La cantidad de materia atravesada es:

$$X(L) \text{ [g/cm}^2\text{]} = \int_0^L \rho(h(l)) dl \quad (1.10)$$

donde  $dl$  es el elemento de línea a lo largo del eje. Es fácil ver que, al avanzar a lo largo del eje una distancia  $dl$ , la altura cambia en:

$$dh = dl \cos \alpha^*(h) \quad (1.11)$$

donde  $\alpha^*$  es el ángulo cenital *local*, i.e., entre una distancia recorrida  $L$  y  $L + dl$  (Fig. 1.2). Planteando el teorema del seno como en (1.6), es inmediato llegar a que:

$$X(L) = \int_{h(L)}^v \rho(h') \frac{dh'}{\sqrt{1 - \left( \frac{R_T + H}{R_T + h'} \right)^2 \sin^2 \theta}} \quad (1.12)$$

Debe usarse con cuidado la expresión anterior, que supone que el límite inferior de la integral es menor a  $v$ , i.e., *integramos hacia arriba en la atmósfera*. Si tenemos cascadas hacia abajo, en que avanzar a lo largo del eje implica reducir la altura, aparecerá un signo extra. Peor aún, en cascadas estratosféricas la altura primero decrece y luego crece, así que según la región habrá un signo o no.

## 2. Normas para nombrar *Tasks* en AIRES

Los archivos .inp y outputs de AIRES pueden dar lugar a bastantes dolores de cabeza, a la hora de identificar qué archivos son los correspondientes a qué simulación y viceversa. Se me han ocurrido unas normas para poner nombres a los *Tasks* en AIRES de manera sistemática. La idea es que viendo el nombre de un archivo podamos identificar inmediatamente la simulación en cuestión y sus parámetros claves, además de poder hacer de manera más sencilla gráficas y análisis posteriores (ya

que teniendo unas normas para los nombres de archivos, podremos simplemente escribir un código que haga el trabajo de buscar los ficheros de datos necesarios para la gráfica que queremos, por ejemplo).

El formato típico para un *task* será:

TrajectoryType\_Primary\_Energy\_TrajectoryParams\_ExtraComments

Es decir, indicaremos:

- Indicador de trayectoria: Si tenemos una cascada normal (*hacia abajo*), escribiremos **dg\_** (down-going). En otro caso, si hemos usado una primaria introducida mediante la instrucción adicional **AddSpecialParticle** y un código *externo* a AIRES, lo indicaremos adecuadamente. Los códigos más habituales (en mi caso) serían: **upr\_...** (para uprimary), **RAS\_...** (para RASPASS)
- Partícula primaria: Siempre con dos caracteres o más.

No válido	p_... , e_...
Válido	prot_... , elec_... , gamma_... , iron_...

La norma general para las partículas comunes será usar **prot**, **elec**, **gamma**. Para las demás partículas y núcleos, siempre el nombre completo: **muon**, **pion**, **kaon**, **lead**, ...

- Energía de la partícula primaria: En eV con formato exponencial. Por ejemplo, **...\_1e18eV\_...**, **...\_5.7e15eV\_...**
- Trayectoria: Depende del tipo de partícula, ya que añadir primarios especiales normalmente implica cambiar los parámetros que definen la trayectoria. En cualquier caso, los ángulos se indicarán en grados y las distancias en km (con las unidades explícitas). Todos los parámetros se indicarán con al menos dos cifras numéricas y se separarán con **\_**. En los casos habituales:

	Norma
AIRES (normal)	<b>..._InjectionAltitude_Zenith_Azimuth_...</b>
uprimary	<b>..._ALTITUDE_Zenith_Azimuth_...</b>
RASPASS	<b>..._RASPASSDistance_RASPASSHeight_RASPASSTimeShift_Zenith_Azimuth_...</b>

	Ejemplo
AIRES (normal)	<b>..._100km_65deg_00deg_...</b>
uprimary	<b>..._00km_95deg_00deg_...</b>
RASPASS	<b>...1500km_35km_00ns_93.5deg_00deg_...</b>

Las cascadas hacia arriba tendrán un ángulo cenital  $> 90^\circ$  por convenio. Por defecto, suponemos que el azimut es magnético (si fuera geográfico, añadimos una **G** a las unidades.) Como norma general para otros casos, deben indicarse todos los parámetros que describan las trayectorias.

- Comentarios extra: Para incluir cualquier información relevante para identificar la simulación y sus condiciones. Algunos ejemplos pueden ser:

1. *La simulación incluye cálculo de emisión electromagnética (en tiempo, frecuencias o ambos):* ...\_ZHS(tfb)
2. *Índice de refracción fijado:* ...nconst
3. *Se ha fijado un campo magnético constante:* ...fixB
4. *Se promedian 5 cascadas:* ...\_05show
5. *La cascada se simula en Malargüe:* ...\_SiteMalargue
6. *Se utiliza el modelo de atmósfera 3:* ...\_Atmos03
7. *El suelo está a 35 m a.s.l.:* ...\_grd35m

Como recomendación, está bien usar más de dos cifras para cualquier magnitud numérica.

**PELIGRO:** Existe un límite de 64 caracteres para la longitud de los nombres para tasks, si se supera AIRES truncará la cadena de caracteres y perderemos información en los comentarios extra.

Algunos ejemplos pueden ser:

- Cascada iniciada por un protón de 100 TeV, inyectado a 100 km de altura con ángulos  $\theta = 65^\circ$ ,  $\varphi = 0^\circ$ , con el suelo a 100 m a.s.l.

dg\_prot\_1e17eV\_100km\_65deg\_00deg\_grd100m

- Cascada hacia arriba iniciada por un electrón de 1,5 EeV, interaccionando a 1, km del suelo, con ángulos  $\theta = 95^\circ$ ,  $\varphi = 65^\circ$  (geográfico), calculando emisión en radio en dominio temporal con índice de refracción constante:

upr\_elec\_1e18eV\_01km\_95deg\_65degG\_ZHSt\_nconst

- Cascada estratosférica iniciada por un fotón (RASPASS) de 1 EeV, a ángulo cenital  $93,25^\circ$  y azimut  $0^\circ$ . La trayectoria cruza la vertical del observador (en el Polo Sur) a 35 km de altura (RASPASSHeight) y el primario se inyecta a 1462,5 km de dicho cruce (RASPASSDistance). No se impone TimeShift, se calcula emisión en radio en ambos dominios con un campo magnético fijado.

RAS\_gamma\_1e18eV\_1462.5km\_35km\_00ns\_93.25deg\_00deg\_SouthPole\_ZHSb\_fixB

En este caso se pasa de 64 caracteres y se pierden comentarios extra. Nos encontraríamos esto en los outputs:

RAS\_gamma\_1e18eV\_1462.5km\_35km\_00ns\_93.25deg\_00deg\_SouthPole\_ZHS

Hay que recortar el nombre eliminando los comentarios menos relevantes (\_SouthPole, por ejemplo, ya que el campo magnético que afecta a la simulación de emisión en radio está fijado previamente).